



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl. (11) 공개번호 10-2007-0026362
F03D 7/04 (2006.01) (43) 공개일자 2007년03월08일

(21) 출원번호	10-2006-7014271	(87) 국제공개번호	WO 2005/083266
(22) 출원일자	2006년07월14일	국제공개일자	2005년09월09일
심사청구일자	2006년07월14일		
번역문 제출일자	2006년07월14일		
(86) 국제출원번호	PCT/JP2004/016851		
국제출원일자	2004년11월12일		

(30) 우선권주장 JP-P-2004-00055515 2004년02월27일 일본(JP)

(71) 출원인 미츠비시 주고교 가부시키키가이샤
일본 도쿄도 미나토구 고난 2초메 16방 5고

(72) 발명자 와카사 츠요시
일본 나가사키현 나가사키시 후카호리마치 5초메 717방 1고미츠비시
주고교 가부시키키가이샤 나가사키현큐쇼 나이
이데 가즈나리
일본 나가사키현 나가사키시 후카호리마치 5초메 717방 1고미츠비시
주고교 가부시키키가이샤 나가사키현큐쇼 나이
하야시 요시유키
일본 나가사키현 나가사키시 후카호리마치 5초메 717방 1고미츠비시
주고교 가부시키키가이샤 나가사키현큐쇼 나이
시바타 마사아키
일본 나가사키현 나가사키시 아쿠노우라마치 1방 1고 미츠비시주고교
가부시키키가이샤 나가사키조센쇼 나이

(74) 대리인 특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진 방법 그리고 풍차 타워

(57) 요약

저비용으로 풍력 발전 장치 또는 풍차 타워의 진동 저감을 도모할 수 있는 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진 방법 그리고 풍차 타워를 제공하는 것을 목적으로 한다. 나셀 (13) 에 부착된 가속도계 (17) 에 의해 이 나셀 (13) 의 진동의 가속도를 검출하고, 액티브 제진부 (20) 에 있어서, 이 가속도에 기초하여, 나셀(13) 의 진동을 없애도록 풍차 블레이드 (12) 에 스트레스를 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드 (12) 의 피치각을 산출하고, 이것을 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 으로서 출력하는 한편, 피치각 제어부 (30) 에 있어서, 출력을 소정값으로 하기 위한 풍차 블레이드 (12) 의 피치각을 산출하여 이것을 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*) 으로서 출력하고, 감산기 (40) 에 의해 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*) 에 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 을 중첩시켜, 이 중첩 후의 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어한다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구를 구비한 풍력 발전 장치로서,

나셀에 부착되고, 상기 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계; 및

상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 출력하는 액티브 제진 수단을 갖는, 풍력 발전 장치.

청구항 2.

날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구를 구비한 풍력 발전 장치로서,

나셀에 부착되고, 상기 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계;

상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 제진용 날개 피치각 지령을 출력하는 액티브 제진 수단;

풍속, 풍차 로터의 회전수 또는 상기 풍력 발전 장치의 출력에 기초하여, 상기 풍력 발전 장치의 출력을 소정값으로 하기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 출력 제어용 날개 피치각 지령을 출력하는 피치각 제어 수단; 및

상기 피치각 제어 수단으로부터의 출력 제어용 날개 피치각 지령에 상기 액티브 제진 수단으로부터의 제진용 날개 피치각 지령을 중첩시킨 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 주는 가산 수단을 갖는, 풍력 발전 장치.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 액티브 제진 수단은,

상기 가속도계에 의해 검출된 가속도로부터 속도를 추정하는 속도 추정 수단; 및

상기 속도 추정 수단으로부터 출력된 속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하는 제어 수단을 갖는, 풍력 발전 장치.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

상기 속도 추정 수단은, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도를 적분하여 속도를 산출하는, 풍력 발전 장치.

청구항 5.

제 3 항에 있어서,

상기 제어 수단은, 상기 속도 추정 수단으로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 진행시키는 위상 선도 보상 수단을 갖고, 상기 위상 선도 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는, 풍력 발전 장치.

청구항 6.

제 5 항에 있어서,

상기 제어 수단은, 상기 위상 선도 보상 수단으로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 늦추는 위상 지연 보상 수단을 갖고, 상기 위상 지연 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는, 풍력 발전 장치.

청구항 7.

제 3 항에 있어서,

상기 제어 수단은, 상기 속도 추정 수단에 의해 추정된 속도를 입력으로 하는 비례 제어기, 비례 적분 제어기, 비례 적분 미분 제어기, 선형 2 차 레귤레이터 및 선형 2 차 가우시안 레귤레이터 중 어느 하나를 구비하여 상기 피치각을 산출하는, 풍력 발전 장치.

청구항 8.

제 1 항에 있어서,

상기 액티브 제진 수단은, 상기 풍차 블레이드의 피치각 또는 상기 풍차 블레이드의 피치각의 각속도를 소정 범위 내로 제한하는 제한 수단을 갖는, 풍력 발전 장치.

청구항 9.

날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구; 및

나셀에 부착되고, 상기 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계를 구비한 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법으로서,

상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 출력하는 액티브 제진 단계를 갖는, 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법.

청구항 10.

날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구; 및

나셀에 부착되고, 상기 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계를 구비한 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법으로서,

상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 제진용 날개 피치각 지령을 출력하는 액티브 제진 단계;

풍속, 풍차 로터의 회전수 또는 상기 풍력 발전 장치의 출력에 기초하여, 상기 풍력 발전 장치의 출력을 소정값으로 하기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 출력 제어용 날개 피치각 지령을 출력하는 피치각 제어 단계; 및

상기 피치각 제어 단계에 의한 출력 제어용 날개 피치각 지령에 상기 액티브 제진 단계에 의한 제진용 날개 피치각 지령을 중첩시킨 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 주는 가산 단계를 갖는, 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법.

청구항 11.

제 9 항에 있어서,

상기 액티브 제진 단계는,

상기 가속도계에 의해 검출된 가속도로부터 속도를 추정하는 속도 추정 단계; 및

상기 속도 추정 단계에 의해 추정된 속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하는 제어 단계를 갖는, 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법.

청구항 12.

제 11 항에 있어서,

상기 속도 추정 단계는, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도를 적분하여 속도를 산출하는, 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법.

청구항 13.

제 11 항에 있어서,

상기 제어 단계는, 상기 속도 추정 단계에 의해 추정된 속도의 위상을 소정량만큼 진행시키는 위상 선도 보상 단계를 갖고, 상기 위상 선도 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는, 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법.

청구항 14.

제 13 항에 있어서,

상기 제어 단계는, 상기 위상 선도 보상 단계로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 늦추는 위상 지연 보상 단계를 갖고, 상기 위상 지연 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는, 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법.

청구항 15.

제 11 항에 있어서,

상기 제어 단계는, 상기 속도 추정 단계에 의해 추정된 속도에 대해 비례 제어, 비례 적분 제어, 비례 적분 미분 제어, 선형 2 차 레귤레이터를 사용한 제어 및 선형 2 차 가우시안 레귤레이터를 사용한 제어 중 어느 하나의 제어를 실시하는 보상 단계를 구비하고, 상기 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는, 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법.

청구항 16.

제 9 항에 있어서,

상기 액티브 제진 단계는, 상기 풍차 블레이드의 피치각 또는 상기 풍차 블레이드의 피치각의 각속도를 소정 범위 내로 제한하는 제한 단계를 갖는, 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법.

청구항 17.

날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구;

나셀에 부착되고, 상기 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계; 및

상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 출력하는 액티브 제진 수단을 갖는, 풍력 발전 장치를 구비하는 풍차 타워.

명세서

기술분야

본 발명은 풍속의 변동에 의해 야기되는 진동을 억제할 수 있는 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진(制振) 방법 그리고 풍차 타워에 관한 것이고, 특히 나셀(nacelle) 중량의 증대를 동반하지 않고 저비용으로 풍력 발전 장치 또는 풍차 타워의 진동 저감을 도모할 수 있는 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진 방법 그리고 풍차 타워에 관한 것이다.

배경기술

풍력 발전 장치는 일반적으로 높이 수십 [m]의 원통형상 타워의 상부에, 날개, 증속기 및 발전기 등의 중량물이 설치되는 구조로 되어 있으며, 풍속의 변동에 의해 야기되는 진동이 매우 크다. 이러한 진동은 구조재의 피로 하중을 증대시켜, 풍차 타워의 수명을 단축시키게 된다.

최근, 풍력 발전 장치는 대형화되는 경향이 있으며, 장치가 대형화됨에 따라, 풍속 변동에 의해 야기되는 진동의 영향은 점점 더 현저해져, 풍력 발전 장치 또는 풍차 타워에 있어서의 진동을 저감시키는 것은 필수적인 기술 과제로 되어 있다.

한편, 빌딩 등의 고층 건축물에서는, 강풍시의 거주성을 개선하기 위해 액티브 제진 기술이 실용화되어 있다. 여러 가지 방식이 제안되고 있지만, AMD(Active Mass Damper)로 대표되는 바와 같이, 구조물 상부에 설치한 중량물(mass)을 모터 등의 액추에이터로 구동하여, 구조물 본체의 진동을 흡수하는 방식이 대부분이다.

그러나, 상기 고층 건축물 등에서 실용화되어 있는 액티브 제진 기술(AMD)을 풍차 발전 장치 또는 풍차 타워에 그대로 적용하고자 하면, 이하와 같은 문제가 발생한다.

첫 번째로, 충분한 제진 효과를 얻기 위해서는, 상당한 중량물(mass)이 필요하고, 또 동시에, 이 상당한 중량물을 구동시키기 위해서는, 대용량의 액추에이터를 준비하지 않으면 안 된다. 이 때문에, 나셀 중량이 대폭 증가해 버린다.

두 번째로, 풍차 타워의 상부에 위치하는 나셀 중량의 증가분 만큼, 이 나셀을 지탱하는 풍차 타워의 강도를 늘리지 않으면 안 된다. 이러한 풍차 타워나 그 밖의 구성 요소의 강도를 대폭 증대시켜야 할 필요성 때문에, 풍력 발전 장치 및 풍차 타워 전체의 비용이 증대해 버린다.

세 번째로, 중량물 (mass) 을 구동시키는 액츄에이터가 필요하여, 구동 개소가 늘어나 유지 비용도 증대한다.

그래서, 예를 들어, 일본 공개특허공보 2001-221145호 (특허문헌 1) 에는, 상기 기술한 바와 같은 과제에 대해, 패시브 · 액티브 · 피치 · 플랩 기구를 형성함으로써, 풍차 타워의 진동을 억제하는 기술이 개시되어 있다.

특허문헌 1 : 일본 공개특허공보 2001-221145호

발명의 개시

그러나, 상기 특허문헌 1 의 발명에서는, 결국 기계적인 기구에 의해 풍차 타워의 진동을 저감시키는 수법을 취하고 있기 때문에, 종래의 AMD 와 마찬가지로, 나셀의 중량 증대를 초래한다. 또, 복수의 구조체를 갖기 때문에, 나셀이 대형화되고, 또 비용 상승이 된다는 문제도 있었다.

본 발명은, 상기 문제를 해결하기 위해 이루어진 것으로서, 나셀 중량의 증대를 동반하지 않고, 저비용으로 진동을 저감시킬 수 있는 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진 방법 그리고 풍차 타워를 제공하는 것을 목적으로 한다.

상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 이하의 수단을 채용한다.

본 발명은, 날개 피치각 지령 (指令) 에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구를 구비한 풍력 발전 장치로서, 나셀에 부착되고, 이 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계와, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 출력하는 액티브 제진 수단을 구비하는 풍력 발전 장치를 제공한다.

본 발명에 의하면, 나셀에 부착된 가속도계에 의해 이 나셀의 진동의 가속도를 검출하고, 액티브 제진 수단에 있어서, 이 가속도에 기초하여, 나셀의 진동을 없애도록 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하고, 이것을 날개 피치각 지령으로서 피치각 제어 기구에 출력하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어한다. 이 경우에 있어서, 풍차 블레이드에 작용하는 항력은 나셀의 전후 방향으로 스러스트력으로서 작용하고, 그 크기는 풍속과 풍차 블레이드의 피치각에 따라 변화하기 때문에, 피치각을 소정의 제어 법칙에 따라 제어하면, 나셀 전후 방향의 진동을 어느 정도 제어할 수 있다.

또, 본 발명은, 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구를 구비한 풍력 발전 장치로서, 나셀에 부착되고, 이 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계와, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 제진용 날개 피치각 지령을 출력하는 액티브 제진 수단과, 풍속, 풍차 로터의 회전수 또는 당해 풍력 발전 장치의 출력에 기초하여, 당해 풍력 발전 장치의 출력을 소정값으로 하기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 출력 제어용 날개 피치각 지령을 출력하는 피치각 제어 수단과, 상기 피치각 제어 수단으로부터의 출력 제어용 날개 피치각 지령에 상기 액티브 제진 수단으로부터의 제진용 날개 피치각 지령을 중첩시킨 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 주는 가산 수단을 구비하는 풍력 발전 장치를 제공한다.

본 발명에 의하면, 나셀에 부착된 가속도계에 의해 이 나셀의 진동의 가속도를 검출하고, 액티브 제진 수단에 있어서, 이 가속도에 기초하여, 나셀의 진동을 없애도록 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 제진용 날개 피치각 지령으로서 출력하는 한편, 피치각 제어 수단에 있어서, 출력을 소정값으로 하기 위한 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 출력 제어용 날개 피치각 지령을 출력하고, 가산 수단에 의해 출력 제어용 날개 피치각 지령에 제진용 날개 피치각 지령을 중첩시키고, 이 중첩 후의 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어한다.

여기에서, 출력을 제어하기 위해 피치각을 제어하는 것은 종래부터 널리 채용되고 있는 기술이기 때문에, 가속도계, 액티브 제진 수단 및 가산 수단을 기존의 풍력 발전 장치에 부가적으로 실장하는 것만으로 본 발명을 실현시키는 것이 가능하

다. 따라서, 액티브 제진 제어의 적용·운용 비용을 현격히 낮출 수 있어, 저비용으로 풍력 발전 장치의 진동 저감을 도모할 수 있다. 또, 제진용 날개 피치각 지령을 출력 제어용 날개 피치각 지령에 중첩시켜 피치각을 제어하기 때문에, 출력 제어 및 제진 제어를 동시에 달성할 수 있다.

또, 본 발명의 풍력 발전 장치에 있어서, 상기 액티브 제진 수단은, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도로부터 속도를 추정하는 속도 추정 수단과, 상기 속도 추정 수단으로부터 출력된 속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하는 제어 수단을 구비하는 것이 바람직하다.

이 발명에 의하면, 액티브 제진 수단에 있어서, 속도 추정 수단이 가속도계에 의해 검출된 가속도로부터 속도를 추정한다. 그리고, 제어 수단이, 추정된 속도에 기초하여, 나셀의 진동을 없애도록 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출한다.

이와 같이, 액티브 제진 수단을 속도 추정 수단 및 제어 수단이라는 간단한 구성으로 실현시킬 수 있기 때문에, 저비용으로 풍력 발전 장치의 진동 저감을 도모할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치에 있어서, 상기 속도 추정 수단은, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도를 적분하여 속도를 산출하는 것이 바람직하다.

이와 같이, 속도 추정 수단이 가속도계에 의해 검출된 가속도를 적분하여 속도를 구하기 때문에, 고주파수대의 노이즈를 제거하는 것이 가능해진다. 이에 따라, 후단의 제어 수단은 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치에 있어서, 상기 제어 수단은, 상기 속도 추정 수단으로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 진행시키는 위상 선도 보상 수단을 구비하고, 이 위상 선도 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는 것이 바람직하다.

게다가, 상기 제어 수단은, 상기 위상 선도 보상 수단으로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 늦추는 위상 지연 보상 수단을 구비하고, 이 위상 지연 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는 것이 바람직하다.

이 발명에 의하면, 이 위상 지연 보상 후의 속도에 기초하여 피치각을 산출하기 때문에, 가속도계 출력의 위상 지연을 보상함과 함께, 고역 주파수대의 노이즈를 저감시킬 수 있기 때문에, 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치에 있어서, 상기 제어 수단은, 상기 속도 추정 수단에 의해 추정된 속도를 입력으로 하는 비례 제어기, 비례 적분 제어기, 비례 적분 미분 제어기, 선형 2 차 레귤레이터 및 선형 2 차 가우시안 레귤레이터 중 어느 하나를 구비하여 상기 피치각을 산출하는 것이 바람직하다.

이와 같이 제어 수단을 구성함으로써, 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치에 있어서, 상기 액티브 제진 수단은, 상기 풍차 블레이드의 피치각 또는 상기 풍차 블레이드의 피치각의 각속도를 소정 범위 내로 제한하는 제한 수단을 갖는 것이 바람직하다.

이 발명에 의하면, 액티브 제진 수단, 예를 들어, 액티브 제진 수단이 구비하는 제어 수단에, 풍차 블레이드의 피치각 또는 풍차 블레이드의 피치각의 각속도 (변화율) 를 소정 범위 내로 제한하는 제한 수단을 구비하여 구성하기 때문에, 피치각 제어 기구의 피로를 저감시킬 수 있음과 함께, 파라미터의 설정 오류 등에 따른 문제를 방지할 수 있다.

게다가, 제진용 날개 피치각 지령을 출력 제어용 날개 피치각 지령과 비교하여 매우 작은 범위로 제한한 경우에는, 양 지령 값의 간섭에 의한 영향을 경감 또는 방지할 수 있다.

본 발명은 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구와, 나셀에 부착되고, 이 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계를 구비한 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법으로서, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 출력하는 액티브 제진 단계를 구비하는 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법을 제공한다.

본 발명에 의하면, 나셀에 부착된 가속도계에 의해 이 나셀의 진동의 가속도를 검출하고, 액티브 제진 단계에 있어서, 이 가속도에 기초하여, 나셀의 진동을 없애도록 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하고, 이것을 날개 피치각 지령으로서 피치각 제어 기구에 출력하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어한다. 이와 같이, 가속도계 및 피치각 제어 기구의 하드웨어와 액티브 제진 단계의 소프트웨어로 실현시킬 수 있기 때문에, 액티브 제진 제어의 적용·운용 비용을 현격히 낮출 수 있어, 저비용으로 풍력 발전 장치의 진동 저감을 도모할 수 있다.

본 발명은 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구와, 나셀에 부착되고, 이 나셀의 진동의 가속도를 검출하는 가속도계를 구비한 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법으로서, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 제진용 날개 피치각 지령을 출력하는 액티브 제진 단계와, 풍속, 풍차 로터의 회전수 또는 당해 풍력 발전 장치의 출력에 기초하여, 당해 풍력 발전 장치의 출력을 소정값으로 하기 위한 상기 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 출력 제어용 날개 피치각 지령을 출력하는 피치각 제어 단계와, 상기 피치각 제어 단계에 의한 출력 제어용 날개 피치각 지령에 상기 액티브 제진 단계에 의한 제진용 날개 피치각 지령을 중첩시킨 날개 피치각 지령을 상기 피치각 제어 기구에 주는 가산 단계를 구비하는 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법을 제공한다.

이 발명에 의하면, 나셀에 부착된 가속도계에 의해 이 나셀의 진동의 가속도를 검출하고, 액티브 제진 단계에 있어서, 이 가속도에 기초하여, 나셀의 진동을 없애도록 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 제진용 날개 피치각 지령으로서 출력하는 한편, 피치각 제어 단계에 있어서, 출력을 소정값으로 하기 위한 풍차 블레이드의 피치각을 산출하여 출력 제어용 날개 피치각 지령을 출력하고, 가산 단계에 의해 출력 제어용 날개 피치각 지령에 제진용 날개 피치각 지령을 중첩시켜, 이 중첩 후의 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어한다. 출력을 제어하기 위해 피치각을 제어하는 것은 종래부터 널리 채용되고 있는 기술이기 때문에, 액티브 제진 단계 및 가산 단계를 풍력 발전 장치의 기존의 제어 소프트웨어에 부가하는 것만으로 본 발명을 실현시키는 것이 가능하다.

이에 따라, 가속도계의 실장과 소프트웨어의 부가로 실현이 가능하기 때문에, 액티브 제진 제어의 적용·운용 비용을 현격히 낮출 수 있어, 저비용으로 풍력 발전 장치의 진동 저감을 도모할 수 있다. 또, 제진용 날개 피치각 지령을 출력 제어용 날개 피치각 지령에 중첩시켜 피치각 제어를 하기 때문에, 출력 제어 및 제진 제어를 동시에 달성할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법에 있어서, 상기 액티브 제진 단계는, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도로부터 속도를 추정하는 속도 추정 단계와, 상기 속도 추정 단계에 의해 추정된 속도에 기초하여, 상기 나셀의 진동을 없애도록 상기 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출하는 제어 단계를 구비하는 것이 바람직하다.

이 발명에 의하면, 액티브 제진 단계에 있어서, 속도 추정 단계에 의해, 가속도계에 의해 검출된 가속도에 기초하여 속도를 구하고, 제어 단계에 의해, 이 속도에 기초하여, 나셀의 진동을 없애도록 풍차 블레이드에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출한다. 이와 같이, 액티브 제진 단계를 속도 추정 단계 및 제어 단계라는 간단한 구성으로 실현시킬 수 있기 때문에, 저비용으로 풍력 발전 장치의 진동 저감을 도모할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법에 있어서, 상기 속도 추정 단계는, 상기 가속도계에 의해 검출된 가속도를 적분하여 속도를 산출하는 것이 바람직하다.

속도 추정 단계에 의해, 고주파수대의 노이즈를 제거하는 것이 가능해지기 때문에, 액티브 제진 단계로서, 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법에 있어서, 상기 제어 단계는, 상기 속도 추정 단계로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 진행시키는 위상 선도 보상 단계를 구비하고, 이 위상 선도 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는 것이 바람직하다.

본 발명의 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법에 있어서, 상기 제어 단계는, 상기 위상 선도 보상 단계로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 늦추는 위상 지연 보상 단계를 구비하고, 이 위상 지연 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는 것이 바람직하다.

본 발명에 의하면, 제어 단계에, 속도 추정 단계로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 진행시키는 위상 선도 보상 단계를 구비하고, 제어 단계에, 위상 선도 보상 단계로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 늦추는 위상 지연 보상 단계를 구비하여, 이 위상 지연 보상 후의 속도에 기초하여 피치각을 산출한다. 이에 따라, 가속도계 출력의 위상 지연을 보상함과 함께, 고역 주파수대의 노이즈를 저감시킬 수 있기 때문에, 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법에 있어서, 상기 제어 단계는, 상기 속도 추정 단계에 의해 추정된 속도에 대해 비례 제어, 비례 적분 제어, 비례 적분 미분 제어, 선형 2 차 레귤레이터를 사용한 제어 및 선형 2 차 가우시안 레귤레이터를 사용한 제어 중 어느 하나의 제어를 실시하는 보상 단계를 구비하고, 상기 보상 후의 속도에 기초하여 상기 피치각을 산출하는 것이 바람직하다.

이에 따라, 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치의 액티브 제진 방법에 있어서, 상기 액티브 제진 단계는, 상기 풍차 블레이드의 피치각 또는 상기 풍차 블레이드의 피치각의 각속도를 소정 범위 내로 제한하는 제한 단계를 갖는 것이 바람직하다.

발명에 의하면, 피치각 제어 기구의 피로를 저감시킬 수 있음과 함께, 파라미터의 설정 오류 등에 따른 문제를 방지할 수 있고, 게다가, 제진용 날개 피치각 지령을 출력 제어용 날개 피치각 지령과 비교하여 매우 작은 범위로 제한한 경우에는, 양 지령값의 간섭에 의한 영향을 경감 또는 방지할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치는 풍차 타워에 적합하다.

본 발명의 풍력 발전 장치를 풍차 타워에 채용함으로써, 액티브 제진 제어의 적용 · 운용 비용을 현저히 낮출 수 있어, 저비용으로 풍차 타워의 진동 저감을 도모할 수 있다. 또, 종래의 AMD 와 같이 중량물이나 이 중량물용 액추에이터를 사용하지 않기 때문에, 나셀 중량의 증대를 동반하지 않고, 풍차 타워의 강도를 올릴 필요가 없어 저비용으로 실현할 수 있다.

본 발명의 풍력 발전 장치에 의하면, 종래의 AMD 와 같이 중량물이나 이 중량물용 액추에이터를 사용하지 않고, 가속도계, 액티브 제진부 및 피치각 제어 기구에 의해 진동을 억제시킬 수 있다. 이에 따라, 액티브 제진 제어의 적용 · 운용 비용을 현저히 낮출 수 있어, 저비용으로 풍력 발전 장치의 진동 저감을 도모할 수 있다는 효과를 나타낸다.

도면의 간단한 설명

도 1 은 본 발명의 일 실시형태에 관련된 풍력 발전 장치의 구성도이다.

도 2 는 풍차 블레이드에 작용하는 힘을 설명하는 설명도이다.

도 3 은 풍속 변화에 대해 스러스트력과 피치각의 관계를 예시하는 설명도이다.

도 4(a) 는 풍차 타워의 모식도, 도 4(b) 는 풍차 타워를 기계 진동계로서 모델화했을 때의 설명도이다.

도 5 는 본 발명의 일 실시형태에 있어서의 액티브 제진 제어 시스템의 블록선도이다.

도 6 은 액티브 제진부의 제어부의 구성을 예시하는 블록선도이다.

도 7 은 도 6 에 나타낸 리미터의 제어 내용의 일례를 나타내는 플로우차트이다.

도 8 은 도 6 에 나타낸 리미터의 제어 내용의 일례를 나타내는 플로우차트이다.

도 9 는 액티브 제진 제어 시스템을 출력 제어 시스템에 삽입했을 때의 제어 시스템의 블록선도이다.

도 10 은 풍차 발전 장치의 출력 및 풍속간의 특성을 설명하는 설명도이다.

도 11 은 액티브 제진부에 의한 액티브 제진이 있을 때와 없을 때에 대하여, 타워 시스템에 있어서의 진동 진폭의 주파수 특성을 예시하는 설명도이다.

발명을 실시하기 위한 최선의 형태

이하, 본 발명의 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진 방법 그리고 풍차 타워의 실시형태에 대하여, 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

도 1은 본 발명의 일 실시형태에 관련된 풍력 발전 장치의 구성도이다. 동 도면에 있어서, 본 실시형태의 풍력 발전 장치는, 풍력 발전 장치의 기계적 부분 (10), 액티브 제진부 (20), 피치각 제어부 (30) 및 감산기 (40)를 구비하여 구성되어 있다. 우선, 본 실시형태의 풍력 발전 장치에 있어서의 각 구성 요소의 개략을 설명한다.

· 풍력 발전 장치의 기계적 부분 (10)은 풍차 로터 (11), 풍차 블레이드 (12), 나셀 (13) 및 풍속계 (16)를 주요 구성 요소로 하고 있다. 상기 나셀 (13)은 증속기 (14), 발전기 (15) 및 가속도계 (17)를 구비하고 있다.

이 풍력 발전 장치의 기계적 부분 (10)에서는, 풍차 로터 (11)에 부착된 복수매의 풍차 블레이드 (12)가 풍력 에너지를 받아 풍차 로터 (11)와 함께 회전하고, 증속기 (14)에 의해 증속된 후, 발전기 (15)를 구동시켜 발전함으로써 풍력 에너지를 전기 에너지로 변환하고 있다. 또한, 도 1에서는 증속기 (14)를 구비한 구성으로 되어 있지만, 증속기 (14)를 사용하지 않는 다이렉트 드라이브 방식이어도 상관없다.

본 실시형태의 풍력 발전 장치의 특징인 가속도계 (17)는, 나셀 (13) 내부의 타워 중심부에 가까운 위치에 설치되어, 나셀 (13) 전후 방향의 진동의 가속도를 검출한다.

또, 피치각 제어부 (30)는 풍속계 (16)로 측정된 풍속 (v), 풍차 로터 (11)의 회전수 (N) 또는 당해 풍력 발전 장치의 출력 (P)에 기초하여, 당해 풍력 발전 장치의 출력 (P)을 소정값으로 하기 위한 풍차 블레이드 (12)의 피치각을 산출하고, 이것을 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*)으로서 출력한다. 이 피치각 제어에 의한 출력 제어는 종전부터 실시되고 있어, 본 실시형태의 피치각 제어부 (30)도 종전의 것과 동등하다.

또, 액티브 제진부 (20)는, 가속도계 (17)에 의해 검출된 가속도에 기초하여, 나셀 (13)의 진동을 없애도록 풍차 블레이드 (12)에 스러스트력을 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드 (12)의 피치각을 산출하고, 이것을 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$)으로서 출력한다.

또한, 감산기 (가산부; 40)는 피치각 제어부 (30)로부터의 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*)에 액티브 제진부 (20)로부터의 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$)을 중첩시켜, 이것을 날개 피치각 지령으로서 피치각 제어 기구에 준다. 여기에서, 피치각 제어 기구 (미도시)는, 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드 (12)의 피치각을 제어하는 것으로서, 그 구조 등은 종래의 것과 동등하다.

다음으로, 액티브 제진부 (20)의 상세한 구성, 및 액티브 제진부 (20)에 의해 풍력 발전 장치 및 풍차 타워의 진동을 저감시키는 액티브 제진 방법에 대하여 상세하게 설명한다.

· 우선, 액티브 제진 방법의 기본적인 사고 방식에 대하여 도 2 및 도 3을 참조하여 설명한다. 도 2는 풍차 블레이드 (12; 도 1 참조)의 선단에서 밑쪽을 봤을 때의 풍차 블레이드 (12)의 단면을 나타내고 있으며, 풍차 블레이드 (12)에 작용하는 힘을 설명하는 설명도이다. 또한, 동 도면에 있어서, 풍차 블레이드의 회전 방향은 오른쪽에서 왼쪽이고, 풍력 발전 장치 또는 풍차 타워의 진동 방향을 상하 (x) 방향으로 하고 있다. 또, 도 3은 6 [m/s]에서 24 [m/s]까지의 풍속 (v) 각각에 대하여, 스러스트력과 피치각의 관계를 예시하는 설명도이다.

· 도 2에 나타내는 바와 같이, 풍차 운전 중에는, 풍차 블레이드에 대해 양력 (L)과 항력 (D)이 작용한다. 항력 (D)은 풍차 타워의 나셀 (13; 도 1 참조)의 전후 방향에 스러스트력으로 작용하고 있다. 한편, 도 3에 나타내는 바와 같이, 스러스트력의 크기는 풍속과 피치각에 따라 변화한다. 따라서, 피치각을 어떠한 제어 법칙에 기초하여 제어하면, 풍차 타워의 나셀 (13)의 전후 방향의 스러스트력을 변화시켜, 풍차 타워의 나셀 (13) 전후 방향의 진동을 어느 정도 제어하는 것이 가능하다. 본 발명은 이 점에 착안한 것으로서, 이 피치각의 제어 법칙에 대하여 이하에 설명한다.

도 4(a)는 풍차 타워의 모식도, 도 4(b)는 풍차 타워를 기계 진동계로서 모델화했을 때의 설명도이다. 즉, 도 4(a)에서는 풍차 타워의 나셀 (13)에 가속도계 (17)를 설치하여, 변위 (x)에 대한 가속도 (d^2x/dt^2)를 검출하는 것을 모식적으로 나타내고 있다. 또 도 4(b)에 나타내는 바와 같이, 풍차 타워는 질량 m인 물체, 용수철 상수 k인 용수철, 및 점성 저항 c의 대시포트로 모델화할 수 있다.

이 기계 진동계에 있어서, 평형 상태로부터의 변위를 x로 하면, 물체의 진동의 방정식은, (1)식이 된다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f + \Delta f \quad (1)$$

여기에서, $f + \Delta f$ 는 물체에 대해 작용하는 힘이고, Δf 는 액티브 제진부 (20)의 피치 제어 동작에 의해 부가적으로 가해지는 힘이다.

(1)식에 대하여, 변형하면 (2)식이 얻어진다.

$$\ddot{x} + \frac{c}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{1}{m}(f + \Delta f) \quad (2)$$

여기에서, 계의 고유 진동수 (ω_n) 및 감쇠율 (ζ)을 다음과 같이 두고, (2)식을 고쳐 쓰면, (5)식이 얻어진다.

$$\omega_n = (k/m)^{1/2} \quad (3)$$

$$\zeta = c/2(mk)^{1/2} \quad (4)$$

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \frac{1}{m}(f + \Delta f) \quad (5)$$

또한, (5)식을 라플라스 변환하면, (6)식이 얻어진다.

$$s^2X(s) + 2\zeta\omega_nsX(s) + \omega_n^2X(s)$$

$$= (1/m)F(s) \quad (6)$$

(6)식으로부터, 계의 전달 함수 G(s)는 (7)식으로 주어지게 된다.

$$G(s) = X(s)/F(s)$$

$$= (1/m)/(s^2 + 2\zeta\omega_ns + \omega_n^2) \quad (7)$$

(7)식과 같은 2차계의 주파수 응답 특성에 있어서, (3), (4)식으로부터, 질량 (m) 및 용수철 상수 (k)의 변화로 계의 고유 진동수 (ω_n)을 바꿀 수 있는데, 감쇠율 (ζ)에 대해서는, 질량 (m) 및 용수철 상수 (k)의 변화의 영향보다도 점성 저항 (c)의 변화의 영향 쪽이 크다는 것을 알 수 있다.

한편, (1)식에 있어서, 부가적으로 가해지는 힘 (Δf)을, 예를 들어,

$$\Delta f = -Dp\dot{x} \quad (8)$$

로 둬으로써, (1)식은 (9)식과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$m\ddot{x} + (C + D_p)\dot{x} + kx = f \quad (9)$$

즉, 액티브 제진부 (20) 의 피치 제어 동작에 의해 추가적으로 가해지는 힘 (Δf) 을 (8) 식과 같이 설정함으로써, (9) 식의 1 차항에 있어서의 + D_p 분의 증가에 의해 감쇠율 (ζ) 을 보다 큰 값으로 바꿀 수 있어, 진동의 감쇠를 보다 빠르게 함과 함께, 주파수 응답 특성에 있어서 고유 진동수 (ω_n) 의 계인의 피크값을 더욱 억제하여, 진동 진폭을 억제할 수 있게 된다.

이상에서 설명한 액티브 제진 방법의 기본적인 사고 방식에 입각하여, 다음으로, 액티브 제진 제어를 위한 구체적인 구성과 그 동작에 대하여 상세하게 설명한다. 도 5 에는, 본 실시형태에 있어서의 액티브 제진 제어 시스템의 블록선도를 나타낸다.

도 5 에 있어서, 부호 51 은 감산기 (40) 로부터 출력되는 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드 (12) 를 구동하여 피치 각도를 제어하는 피치 액추에이터이다. 피치 액추에이터 (51) 는 구체적으로는, 유압 실린더 또는 전동 모터 등에 의해 실현되는데, 여기에서는, 기계 진동계의 관점에서 1 차 지연계에서 모델화하고 있다.

또, 부호 52 는 풍차 운전 중에 풍차 블레이드에 대해 작용하는 스러스트력을 산출하는 블레이드 시스템이다. 도 2 에 나타낸 바와 같이, 풍차 타워의 나셀 (13) 전후 방향의 스러스트력은, 양력 (L) 및 항력 (D) 의 전후 방향 성분의 합이기 때문에, 가산기 (54) 로 이들을 가산하여 출력하고 있다. 또, 항력 (D) 에 의한 스러스트력에 대해서는, 풍차 블레이드 (12) 의 피치각과 스러스트력 사이에 도 3 에 나타난 바와 같은 특성을 갖는다. 따라서, 스러스트력은 피치각에 역비례한다고 간주하여, 그 직선 근사에서 얻어지는 구배에 기초하는 K_b 를 계인으로 하는 증폭기 (53) 에 의해 구하고 있다.

부호 55 는 풍차 타워를 기계 진동계로서 모델화한 타워 시스템이다. 전달 함수는 (7) 식으로 구했지만, 액티브 제진 제어 시스템에서는, 가속도 (d^2x/dt^2) 를 가속도계 (17) 로 검출하여 피드백을 가하고 있기 때문에, (7) 식에 s^2 를 곱한 전달 함수로 모델화하고 있다. 또한, 이 모델은 1 차 진동 모드만의 모델이다.

이상의 피치 액추에이터 (51), 블레이드 시스템 (52) 및 타워 시스템 (55) 은, 종래의 풍력 발전 장치가 구비하는 구성이지만, 본 실시형태에서는, 이들에, 타워 시스템 (55) 의 출력인 가속도를 검출하는 가속도계 (17), 풍차 타워의 나셀 (13) 전후 방향의 스러스트력을 변화시키기 위한 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 을 생성하는 액티브 제진부 (20), 및 액티브 제진부 (20) 에 의해 얻어지는 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 을 피치각 제어부 (30) 로부터 출력되는 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*) 에 중첩시키기 위해, $\delta\theta^* - \theta^*$ 의 연산을 하는 감산기 (40) 를 부가하여 피드백 루프를 구성하고 있다.

가속도계 (17) 는 출력에 위상 지연이 있기 때문에 1 차 지연계에서 모델화하고 있다. 또, 액티브 제진부 (20) 에서는, (8) 식으로 설정한 바와 같이, 속도 (dx/dt) 에 D_p 를 곱한 것을 액티브 제진부 (20) 의 피치 제어 동작에 의해 추가적으로 부가되는 힘으로 하고 있기 때문에, 가속도를 적분하여 속도를 구하는 적분기 (21), 및 전달 함수 ($G_c(s)$) 를 갖는 제어부 (22) 를 구비하여 구성되어 있다.

즉, 나셀 (13) 내부에 설치된 가속도계 (17) 에 의해, 나셀 (13) 전후 방향의 가속도 (1 차 진동 모드) 를 계속하고, 그 계속한 가속도를 액티브 제진부 (20) 에 입력하여, 적분기 (21) 에 의한 적분 연산에 의해 나셀 (13) 전후 방향의 속도를 산출한다. 액티브 제진부 (20) 의 제어부 (22) 에서는, 산출된 속도에 기초하여 제진 효과를 얻기 위한 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 을 계산한다. 액티브 제진부 (20) 에서 구해진 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 은, 감산기 (40) 에 의해 피치각 제어부 (30; 도 1 참조) 에서 구해진 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*) 에 중첩된다. 피치 액추에이터 (51) 에서는, 이 중첩된 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드 (12) 를 구동하여 피치 각도를 제어한다. 이 피치 각도 제어에 의해, 당해 풍력 발전 장치의 출력이 제어됨과 함께, 피치각에 따른 스러스트력이 풍차 타워의 나셀 (13) 전후 방향의 진동을 억제하도록 작용하여, 진동의 감쇠를 빠르게 하는 작용을 한다.

이와 같이, 본 실시형태에서는, 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 을 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*) 에 중첩시킴으로써, 출력 제어 및 제진 제어를 동시에 달성할 수 있다. 또한, 속도를 산출하는 적분기 (21) 는 단순히 적분 연산을 할 뿐만 아니라, 주파수 특성으로서 상대적으로 고역 주파수대를 억제하고 또한 저역 주파수대를 강조하는 특성을 갖기 때문에, 고주파수대의 노이즈를 차단하는 역할까지도 한다.

또한, 적분기의 구조는 완전 적분 (1/s) 에 한정되지 않고, 이와 동등한 작용을 갖는 필터 (예를 들어, 1 차 지연 요소 등) 또는, 적당한 상태 추정기 (동일 · 최소 차원 옵저버나 칼만 필터) 등이어도 된다.

다음으로, 도 6(a) 및 도 6(b) 를 참조하여, 액티브 제진부 (20) 의 제어부 (22) 의 구체적인 구성 및 동작에 대하여 설명한다. 도 6(a) 및 도 6(b) 는 모두 액티브 제진부 (20) 의 제어부 (22) 의 구성을 예시하는 블록선도이다.

도 6(a) 에 있어서, 제어부 (22a) 는 위상 선도 보상기 (62), 위상 지연 보상기 (63), 증폭기 (64) 및 리미터 (65) 를 구비하여 구성되어 있다.

상기 기술한 바와 같이, 가속도계 (17) 의 출력에는 위상 지연이 있기 때문에, 위상 선도 보상기 (62) 에 의해 위상을 조정하고 있다. 위상 선도 보상기 (62) 는, 도시하는 바와 같이, $(1 + saT1)/(1 + sT1)$ 의 위상 선도계의 전달 함수 (여기에서, $a < 1$) 를 갖는다.

또, 위상 선도 보상기 (62) 를 통과함으로써, 고역 주파수대에서의 노이즈가 증폭되어 버리기 때문에, 그 대책으로서 위상 지연 보상기 (63) 를 부가하여, 상대적으로 고역 주파수대를 억제하면서 또한 저역 주파수대를 강조하고 있다. 위상 지연 보상기 (63) 는, 도시하는 바와 같이, $(1 + saT2)/(1 + sT2)$ 의 위상 지연계의 전달 함수 (여기에서, $a > 1$) 를 갖는다. 이와 같이, 액티브 제진부 (20) 의 제어부 (22) 에, 위상 선도 보상기 (62) 및 위상 지연 보상기 (63) 의 2 종류의 필터를 구비함으로써, 가속도계 (17) 출력의 위상 지연을 보상함과 함께, 고역 주파수대의 노이즈를 저감시킬 수 있기 때문에, 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

또, (8) 식의 설정으로부터, 증폭기 (64) 는 게인 (Dp) 의 전달 함수를 갖도록 구성된다. 여기에서, 게인 (Dp) 은 시뮬레이션이나 실험 등의 결과에 입각하여 설정되는 것이 바람직하다.

또한, 제어부 (22) (도 5 참조) 의 구성은, 상기 기술한 위상 보상기에 한정되지 않고, 예를 들어, 비례 제어기, 비례 적분 제어기, 비례 적분 미분 제어기, LQ 레귤레이터 (선형 2 차 레귤레이터), LQG 레귤레이터 (선형 2 차 가우시안 레귤레이터) 등에 의해서도 실현 가능하다.

또한, 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 에 의한 피치각 제어를 지나치게 빈번하게 실시하면, 피치각 제어 기구가 지나치게 움직여 피로를 일으켜 버리기 때문에, 리미터 (65) (도 6(a), 도 6(b) 참조) 에 의해 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 에 제한 (예를 들어, ± 1 [deg]) 을 형성하여, 피치각 제어 기구의 피로를 저감시키면 좋다.

구체적으로는, 도 6 에 나타난 증폭기 (64) 의 출력 (이하, 「피치각 지령」이라고 함.) 이 미리 설정되어 있는 최소 피치각보다도 작은 경우에는 (도 7 의 단계 SA1 에서 「예」), 최소 피치각 또는 최소 피치각보다도 큰 소정의 피치각을 최종적인 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 으로서 출력한다 (도 7 의 단계 SA2). 한편, 피치각 지령이 최소 피치각 이상인 경우에는 (도 7 의 단계 SA1 에서 「아니오」), 피치각 지령이 미리 설정되어 있는 최대 피치각보다도 큰지 여부를 판단한다 (도 7 의 단계 SA3).

이 결과, 피치각 지령이 최대 피치각보다도 큰 경우에는 (도 7 의 단계 SA3 에서 「예」), 최대 피치각 또는 최대 피치각보다도 작은 소정의 피치각을 최종적인 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 으로서 출력한다 (도 7 의 단계 SA4). 한편, 당해 피치각 지령이 최대 피치각 이하인 경우에는 (도 7 의 단계 SA3 에서 「아니오」), 당해 피치각 지령을 최종적인 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 으로서 출력한다 (도 7 의 단계 SA5).

또, 상기 기술한 바와 같이, 증폭기 (64 ; 도 6(a), 도 6(b) 참조) 의 출력 자체를 제한하는 것이 아니라, 이 출력의 변화율, 바꿔 말하면, 피치 각도의 각속도를 일정 범위 내로 제한 (예를 들어, ± 0.6 [deg/sec]) 해도 된다.

구체적으로는, 도 8 에 나타내는 바와 같이, 우선, 증폭기 (64 ; 도 6 참조) 의 출력의 전회 (前回) 값 (이하, 「피치각 지령의 전회 값」이라고 함.) 과 금회 값 (이하, 「피치각 지령의 금회 값」이라고 함.) 에 기초하여 변화율을 산출하고 (단계 SB1), 이 변화율이 미리 설정되어 있는 최소 변화율보다도 작은지 여부를 판단한다 (단계 SB2). 이 결과, 변화율이 미리 설정되어 있는 최소 변화율보다도 작은 경우에는 (단계 SB2 에서 「예」), 피치각 지령의 전회 값에 최소 변화율을 가산한 값을 최종적인 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 으로서 출력한다 (단계 SB3).

한편, 변화율이 최소 변화율 이상인 경우에는 (단계 SB2 에서 「아니오」), 변화율이 미리 설정되어 있는 최대 변화율보다도 큰지 여부를 판단한다 (단계 SB4). 이 결과, 변화율이 최대 변화율보다도 큰 경우에는 (단계 SB4 에서 「예」), 피치각 지령의 전회 값에 최대 변화율을 가산한 값을 최종적인 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 으로서 출력한다 (단계 SB5). 한편, 변화율이 최대 변화율 이하인 경우에는 (단계 SB4 에서 「아니오」), 피치각 지령의 금회 값을 최종적인 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 으로서 출력한다 (단계 SB6).

이상에서 설명한 바와 같이, 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 또는 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 의 변화율을 제한함으로써, 제진 제어 계의 파라미터의 설정 오류 등으로 인하여 풍차 타워의 진동이 오히려 증대해 버리는 등의 문제를 방지할 수 있다.

또한, 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 은, 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*) 과 비교하여 매우 작은 범위로 제한되기 때문에, 양 지령값의 간섭에 의한 영향을 경감 또는 방지할 수 있다.

또, 도 6(b) 에 나타내는 제어부 (22b) 에서는, 제어부 (22a) 의 위상 선도 보상기 (62) 의 전단에 2 차 진동성의 보상기 (61) 를 부가하여 구성하여, 보다 고정밀도의 제어를 실현시키고 있다.

또한, 이상의 설명에서는, 액티브 제진부 (20) 를 하드웨어로 구성하여, 제진용 날개 피치각 지령 ($\delta\theta^*$) 을 출력하는 것으로서 설명했지만, 각 구성 요소를 순차적으로 실행되는 서브프로그램으로서 구성해도 된다. 이 경우, 적분기 (20) 는 적분 단계 (속도 추정 단계), 제어부 (22) 는 제어 단계, 또 제어부 (22) 내의 각 구성 요소도 각각 위상 선도 보상 단계, 위상 지연 보상 단계, 제한 단계 등으로 바뀌고, 이들 각 단계는 소위 컨트롤러 내부의 CPU, MPU 또는 DSP 상에서 실행되는 서브프로그램이 된다.

다음으로, 상기 기술한 액티브 제진부 (20) 에 의한 액티브 제진 제어 시스템을, 종래의 풍력 발전 장치에서 실현되고 있는 피치각 제어부 (30; 도 1 참조) 에 의한 출력 제어 시스템에 삽입했을 때의 제어 시스템의 블록선도를 도 9 에 나타내고, 피치각 제어부 (30) 에 의한 출력 제어에 대하여 간단히 설명한다.

도 9 에 있어서, 피치각 제어부는 감산기 (31, 32) 와, 풍속 제어부 (33) 와, 회전수 제어부 (34) 와, 출력 제어부 (35) 와, 선택부 (36) 를 구비하고 있다.

풍속 제어부 (33) 는 풍속계 (16) 에 의해 측정된 풍속 (v) [m/s] 에 기초하여 날개 피치각 지령 (θ_v) 을 구하여 출력한다. 또, 회전수 제어부 (34) 는 풍차 로터 (11) 의 회전수 (N) [rpm] 에 기초하여, 소정 회전수 (목표값; N^*) 가 되는 날개 피치각 지령 (θ_N) 을 산출하여 출력한다. 또한, 출력 제어부 (35) 는 당해 풍력 발전 장치의 출력 (P) [kW] 에 기초하여, 소정 출력 (목표값) (P^*) 이 되는 날개 피치각 지령 (θ_p) 을 산출하여 출력한다.

또, 선택부 (36) 에서는 풍속 제어부 (33), 회전수 제어부 (34) 및 출력 제어부 (35) 각각으로 구한 날개 피치각 지령 (θ_v , θ_N 및 θ_p) 내의 최소값을 선택 (minimum selection), 즉, 가장 출력을 내지 않는 날개 피치각 지령을 선택하여, 출력 제어용 날개 피치각 지령 (θ^*) 으로서 출력한다. 또, 일반적으로, 풍차 발전 장치의 출력 (P) [kW] 과 풍속 (v) [m/s] 의 특성은, 도 10 에 나타내는 설명도와 같이 된다. 정격 출력, 정격 풍속이 될 때까지는, 풍속 (v) [m/s] 에 기초하는 제어를 실시하고, 정격 출력, 정격 풍속에 도달한 후에는 풍차 로터 (11) 의 회전수 (N) [rpm] 또는 풍력 발전 장치의 출력 (P) [kW] 에 기초하는 제어를 실시한다.

또한, 피치각 제어부 (30) 에 의한 피치각의 범위는, 파인 피치 (약 -20 [deg] 으로, 이 때 회전수는 큼) 에서 패더 (약 -104 [deg] 로, 이 때 회전수는 작음) 까지로, 넓은 제어 범위를 갖는다.

다음으로, 본 실시형태의 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진 방법의 효과를, 시뮬레이션 실험 결과를 예시하여 설명한다. 도 11 은 액티브 제진부 (20; 도 1 참조) 에 의한 액티브 제진이 있을 때와 없을 때에 대하여, 타워 시스템 (55; 도 5 참조) 에 있어서의 진동 진폭의 주파수 특성을 나타내고 있다. 타워 시스템 (55) 의 고유 진동수 부근에서 진동 진폭이 억제되어 있는 것이 현저하게 나타나 있다. 또한, 타워 시스템 (55) 의 고유 진동수는 미리 알고 있기 때문에, 고유 진동수에 따른 제어 시스템의 파라미터 설정을 함으로써, 보다 최적의 제진 제어를 할 수 있다.

이상 설명한 바와 같이, 본 실시형태의 풍력 발전 장치 또는 그 액티브 제진 방법에서는, 도 1에 나타내는 바와 같이, 나셀(13)에 부착된 가속도계(17)에 의해 이 나셀(13)의 진동의 가속도를 검출하고, 액티브 제진부(20)(액티브 제진 단계)에서, 이 가속도에 기초하여, 나셀(13)의 진동을 없애도록 풍차 블레이드(12)에 스트레스를 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드(12)의 피치각을 산출하여, 이것을 제진용 날개 피치각 지령($6\theta^*$)으로서 출력한다. 한편, 피치각 제어부(30)(피치각 제어 단계)에 있어서, 출력을 소정값으로 하기 위한 풍차 블레이드(12)의 피치각을 산출하여 이것을 출력 제어용 날개 피치각 지령(θ^*)으로서 출력한다. 그리고, 감산기(40)(가산 단계)에 의해 출력 제어용 날개 피치각 지령(θ^*)에 제진용 날개 피치각 지령($6\theta^*$)을 중첩시키고, 이 중첩 후의 날개 피치각 지령에 기초하여 풍차 블레이드의 피치각을 제어하도록 하고 있다.

출력을 제어하기 위해 피치각을 제어하는 것은 종래부터 널리 채용되고 있는 기술이기 때문에, 가속도계(17), 액티브 제진부(20)(액티브 제진 단계) 및 감산기(40)(가산 단계)를 기존의 풍력 발전 장치에 부가적으로 실장하는 것만으로 본 실시형태를 실현시키는 것이 가능하다. 즉, 용이하게 실장하는 것이 가능하기 때문에, 액티브 제진 제어의 적용·운용 비용을 현저히 낮출 수 있어, 저비용으로 풍력 발전 장치의 진동 저감을 도모할 수 있다. 또, 제진용 날개 피치각 지령($6\theta^*$)을 출력 제어용 날개 피치각 지령(θ^*)에 중첩시켜 피치각 제어를 실시하기 때문에, 출력 제어 및 제진 제어를 동시에 달성할 수 있다.

본 실시형태의 풍력 발전 장치 또는 그 액티브 제진 방법에서는, 도 1에 나타내는 바와 같이, 액티브 제진부(20)(액티브 제진 단계)에서, 가속도계에 의해 검출된 가속도를 적분기(21)(적분 단계)에 의해 적분하여 속도를 구하고, 제어부(22)(제어 단계)에 의해, 이 속도에 기초하여, 나셀의 진동을 없애도록 풍차 블레이드에 스트레스를 발생시키기 위한 이 풍차 블레이드의 피치각을 산출한다. 이와 같이, 본 발명에 의하면, 액티브 제진부(20)(액티브 제진 단계)를 적분기(21)(적분 단계) 및 제어부(22)(제어 단계)라는 간단한 구성으로 실현시킬 수 있기 때문에, 저비용으로 풍력 발전 장치의 진동 저감을 도모할 수 있다. 또, 적분기(21)(적분 단계)를 통해 고주파수대의 노이즈도 제거되기 때문에, 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

본 실시형태의 풍력 발전 장치 또는 그 액티브 제진 방법에 의하면, 도 1, 도 6(a) 및 도 6(b)에 나타내는 바와 같이, 제어부(22)(제어 단계)에, 적분기(21)(적분 단계)로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 진행시키는 위상 선도 보상기(62)(위상 선도 보상 단계)와, 위상 선도 보상기(62)(위상 선도 보상 단계)로부터 출력된 속도의 위상을 소정량만큼 늦추는 위상 지연 보상기(63)(위상 지연 보상 단계)를 구비하고, 이 위상 지연 보상 후의 속도에 기초하여 피치각을 산출한다. 이에 따라, 가속도계 출력의 위상 지연을 보상함과 함께, 고역 주파수대의 노이즈를 저감시킬 수 있기 때문에, 안정적이면서 또한 효과적인 제진 제어를 할 수 있다.

본 실시형태의 풍력 발전 장치 또는 그 액티브 제진 방법에 의하면, 도 6(a) 및 도 6(b)에 나타내는 바와 같이, 제어부(22)(제어 단계)에, 산출된 피치각을 소정 범위 내로 제한하는 리미터(65)(제한 단계)를 구비하여 구성하기 때문에, 피치각 제어 기구의 피로를 저감시킬 수 있음과 함께, 파라미터의 설정 오류 등에 따른 문제를 방지할 수 있으며, 게다가 제진용 날개 피치각 지령($6\theta^*$)을 출력 제어용 날개 피치각 지령(θ^*)과 비교하여 매우 작은 범위로 제한한 경우에는, 양 지령값의 간섭에 의한 영향을 경감 또는 방지할 수 있다.

이상, 본 발명의 실시형태에 대하여 도면을 참조하여 상세하게 서술했지만, 구체적인 구성은 이 실시형태에 한정되지 않고, 본 발명의 요지를 이탈하지 않는 범위의 설계 변경 등도 포함된다.

상기 실시형태의 설명에서는, 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진 방법에 대하여 상세하게 서술했지만, 본 실시형태의 풍력 발전 장치 및 그 액티브 제진 방법을 그대로 풍차 타워에 적용할 수 있다. 이 경우, 상기 기술한 효과 외에, 다음과 같은 효과도 있다. 즉, 종래의 AMD와 같이 중량물이나 이 중량물용 액츄에이터를 사용하지 않기 때문에, 나셀(13)의 중량이 증대하지 않고, 풍차 타워 자체의 강도를 높일 필요가 없기 때문에, 저비용으로 실현시킬 수 있다는 점이다.

또, 실시형태에서는, 피치각 제어에 의해 출력 제어를 하고 있는데, 다른 출력 제어를 채용하고 있는 풍력 발전 장치 또는 풍차 타워에도 적용할 수 있다. 단, 이 경우, 새롭게 풍차 블레이드(12)의 피치각을 제어하는 피치각 제어 기구를 부가할 필요가 있다.

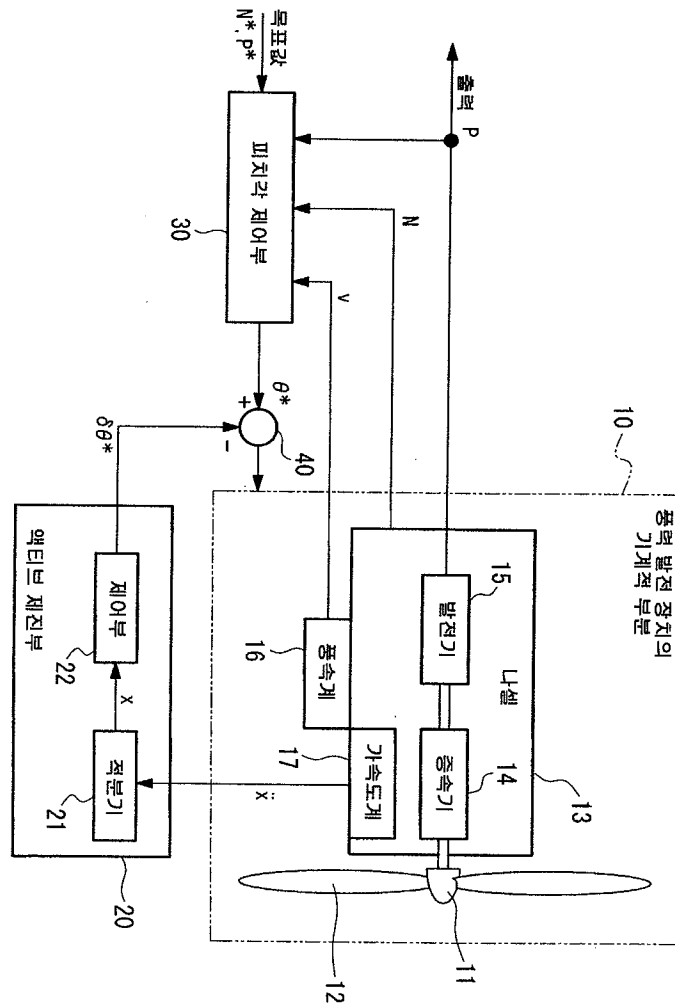
또한, 실제의 운용에 있어서, 신뢰성이나 안전성을 높이는 관점에서 이하와 같은 구성이나 수법을 채용하는 것도 가능하다.

예를 들어, 페일 세이프를 위해 나셀 (13) 내부에 항상 2 개의 가속도계를 동작시켜 두고, 액티브 제진 제어에는 한 쪽의 검출 결과만을 사용하여, 어느 일방이 고장난 경우에는, 액티브 제진 제어를 자동적으로 정지시키는 수법이다.

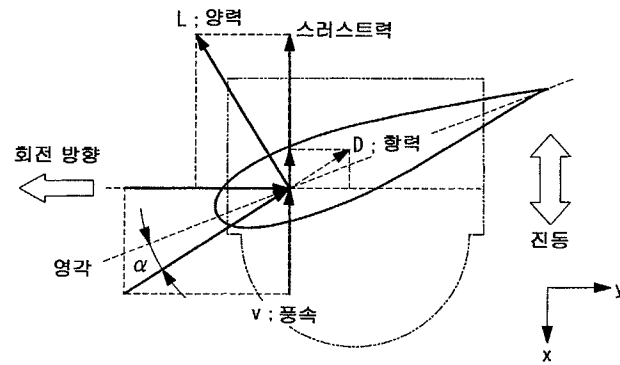
또, 제진 제어계의 파라미터 (주로 피드백 게인 ($G_c(s)$)) 의 설정값이 부적절한 경우, 예를 들어, 부호가 역전되어 있거나 허용 범위를 초과한 하이 게인으로 설정되거나 한 경우 등에는, 제진 제어계가 불안정해져 풍차 타워 (나셀 (13)) 의 진동이 증대해 버리는 일이 일어날 수 있는데, (가속도계 (17) 등에 의해) 이러한 상태를 자동적으로 검지하여, 액티브 제진 제어를 자동적으로 정지시키는 수법 등도 생각할 수 있다.

도면

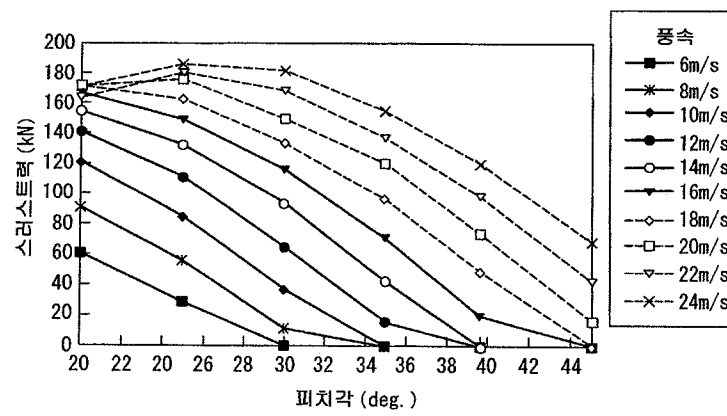
도면1



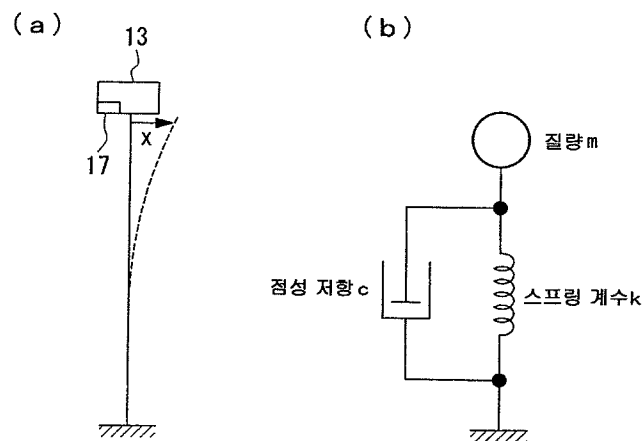
도면2



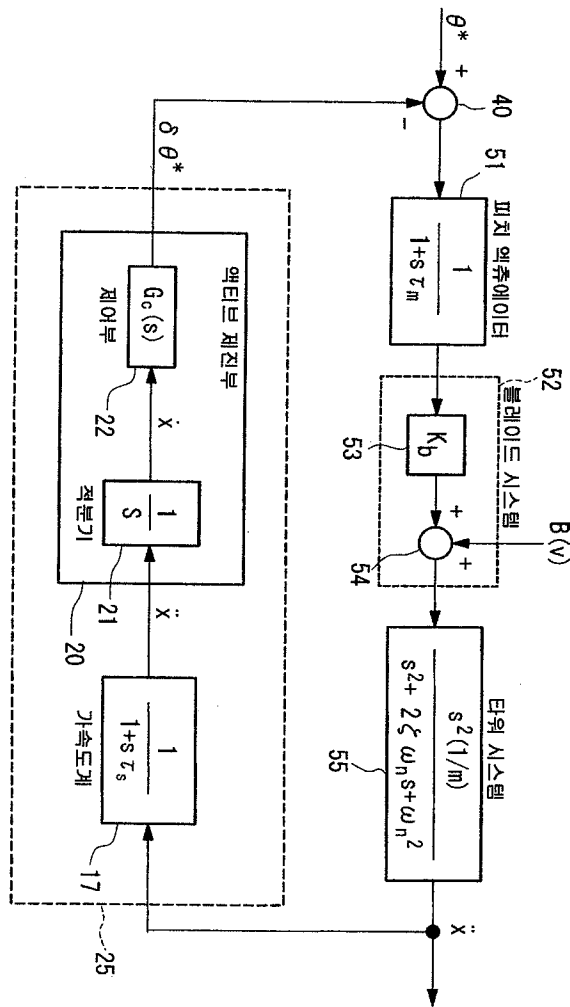
도면3



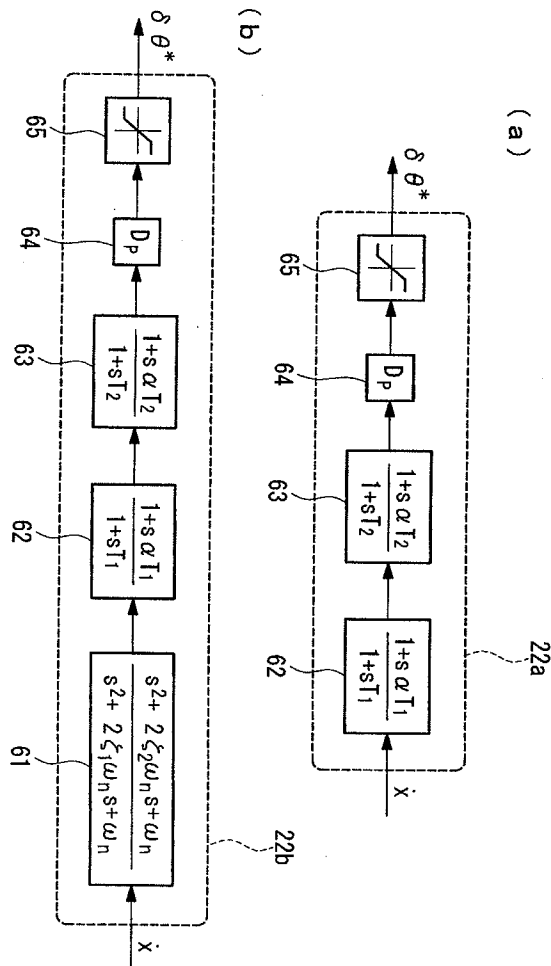
도면4



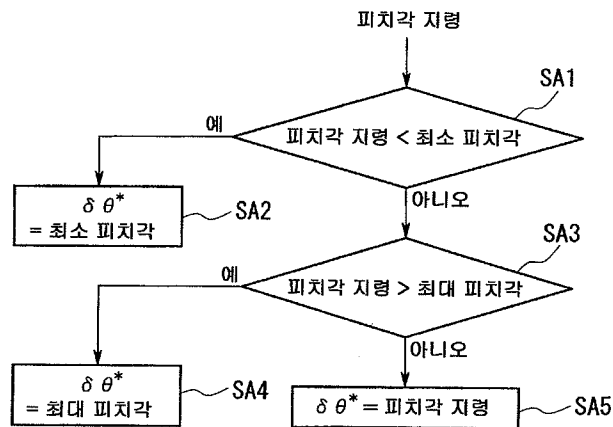
도면5



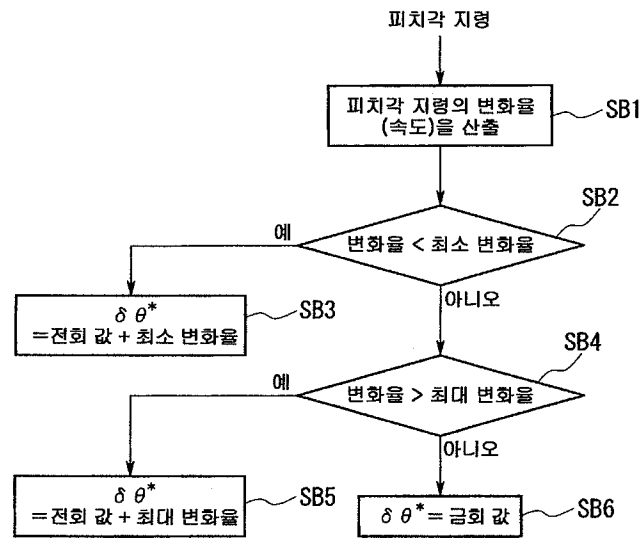
도면6



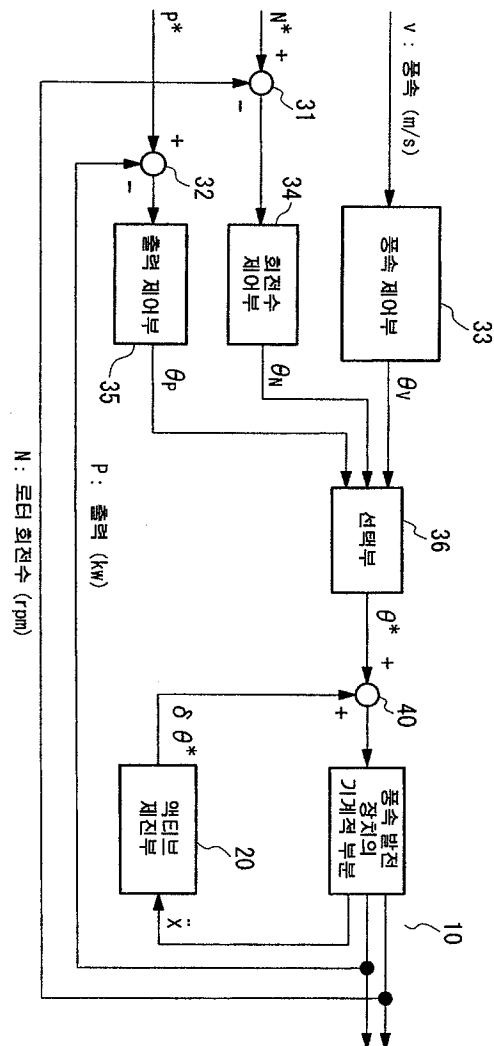
도면7



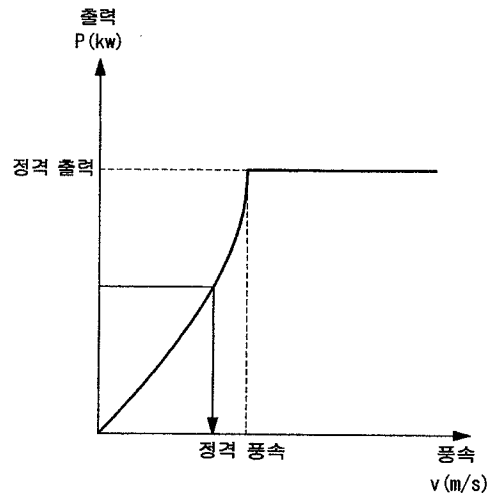
도면8



도면9



도면 10



도면 11

